



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
DE 3735091 A1

51 Int. Cl. 4:
G02B 7/11

21 Aktenzeichen: P 37 35 091.9
22 Anmeldetag: 16. 10. 87
43 Offenlegungstag: 28. 4. 88

DE 3735091 A1

30 Unionspriorität: 32 33 31
16.10.86 JP P 61-246188

71 Anmelder:
Olympus Optical Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP

72 Vertreter:
Richter, J., Dipl.-Ing.; Werdermann, F., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 2000 Hamburg

72 Erfinder:
Fujihara, Tadafumi; Shimada, Yoshihiro, Hachiouji,
Tokio/Tokyo, JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Automatisches Fokussierverfahren

Um ein automatisches Fokussierungsverfahren zu schaffen, das es ermöglicht, die Position des maximalen Kontrastes, d. h. die Brennpunktposition unabhängig von Unter-
Spitzen des Kontrastes genau festzustellen, ist vorgesehen, daß die Fokusposition durch die Durchführung folgender Schritte erreicht wird:

- Messung des Kontrastes bei einer schrittweisen Bewegung des Objektes oder der Objektlinse entlang einer optischen Achse der Objektlinse in einer Normalen-Richtung mit einer ersten konstanten Schrittweite von einem Referenzpunkt und Speicherung des Kontrastes bei jeder Position, zu der das Objekt oder die Objektlinse bewegt worden ist.
- Vergleich einer Differenz zwischen einem Kontrastwert, der bei einer vorgegebenen Position, zu der das Objekt oder die Objektlinse gerade bewegt worden ist, gemessen wird, und einem Kontrastwert, der bei jeder Position, zu der das Objekt oder die Objektlinse bereits bewegt worden ist, gemessen worden ist, mit einem vorliegenden Prüfungswert, und
- Entscheidung, daß eine Position des maximalen Kontrastes durchschritten worden ist in bezug auf das Vorgehen mit der ersten Schrittweite, wenn jeder der durch den Schritt b) erhaltenen Vergleichswerte ein positiver Wert ist.

DE 3735091 A1

Patentansprüche

1. Automatisches Fokussierverfahren zur Erreichung der Brennpunkteinstellung durch Einstellung eines Abstandes zwischen einem Objekt und einer Objektlinse so, daß der maximale Kontrast des Objektes erzielt wird, gekennzeichnet durch die Anwendung folgender Schritte:

- a) Messung des Kontrastes bei einer schrittweisen Bewegung des Objektes oder der Objektlinse entlang einer optischen Achse der Objektlinse in einer Normalen-Richtung mit einer ersten konstanten Schrittweite von einem Referenzpunkt und Speicherung des Kontrastes bei jeder Position, zu der das Objekt oder die Objektlinse bewegt worden ist,
- b) Vergleich einer Differenz zwischen einem Kontrastwert, der bei einer vorgegebenen Position, zu der das Objekt oder die Objektlinse gerade bewegt worden ist, gemessen wird, und einem Kontrastwert, der bei jeder Position, zu der das Objekt oder die Objektlinse bereits bewegt worden ist, gemessen worden ist, mit einem vorliegenden Prüfungswert, und
- c) Entscheidung, daß eine Position des maximalen Kontrastes durchschritten worden ist in bezug auf das Vorgehen mit der ersten Schrittweite, wenn jeder der durch den Schritt b) erhaltenen Vergleichswerte ein positiver Wert ist.

2. Automatisches Fokussierverfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende weitere Schritte nach Durchführung des Schrittes c):

- d) Rückstellung der Position des Objektes oder der Objektlinse in eine in der Normalen-Richtung für die erste Schrittweite von der Position des maximalen Kontrastes verschobene Position und anschließende Durchführung der Schritte a) bis c) mit einer zweiten Schrittweite, die kleiner ist als die erste Schrittweite, und in die umgekehrte Richtung, und
- e) Wiederholung der Schritte a) bis d) solange, bis eine vorbestimmte minimale Schrittweite, die kleiner ist als eine Schärfentiefe, angewendet worden ist.

3. Automatisches Fokussierverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß, wenn eine Grenzposition für die Bewegung des Objektes oder der Objektlinse auf der dem Bezugspunkt entgegengesetzten Seite gesetzt wird und es unmöglich ist, festzustellen, ob innerhalb der Durchführung des Vorgangs zur Durchführung des Schrittes c) die Position des maximalen Kontrastes durchlaufen wurde, folgende Schritte durchgeführt werden:

- f) Feststellung des Wertes des maximalen Kontrastes in der graduellen Bewegung mit der ersten Schrittweite, um diesen mit einem vorliegenden Wert zu vergleichen,
- g) Durchführung der Schritte a) und e), wenn der bei der Durchführung des Schrittes f) festgestellte Wert des maximalen Kontrastes größer ist als der vorgegebene Wert,

h) Durchführung der Schritte a) bis e) mit einer Schrittweite, die kleiner ist als die erste Schrittweite, Festsetzung entweder der Grenzposition oder des Referenzpunktes als einen zweiten Referenzpunkt, wenn der beim Schritt c) erhaltene Wert des maximalen Kontrastes kleiner ist als der vorgegebene Wert.

4. Automatisches Fokussierverfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende weitere Schritte nach Durchführung des Schrittes c):

- d) Rückstellung der Position des Objektes oder der Objektlinse in eine in der Normalen-Richtung für die erste Schrittweite von der Position des maximalen Kontrastes verschobene Position und dann Bewegung des Objektes oder der Objektlinse um eine vorgegebene Anzahl von Schritten mit einer zweiten Schrittweite, die kleiner ist als die erste Schrittweite, in eine umgekehrte Richtung bei gleichzeitiger Messung des Kontrastes,
- e) Nutzung des während einer graduellen Bewegung im Schritt d) gemessenen Wertes des maximalen Kontrastes und der Kontrastwerte in mit der zweiten Schrittweite von der Position des maximalen Kontrastes in Normal- und umgekehrten Richtungen verschobenen Positionen zur Berechnung eines Brennpunktes durch einen annähernden Ausdruck der Interpolation, und
- f) Durchführung eines Wechsels, um die Position entweder des Objektes oder der Objektlinse auf die im Schritt e) errechnete Position zu setzen.

5. Automatisches Fokussierverfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß, wenn eine Grenzposition für die Bewegung des Objektes oder der Objektlinse auf der dem Bezugspunkt entgegengesetzten Seite gesetzt wird und es unmöglich ist, festzustellen, ob innerhalb der Durchführung des Vorgangs zur Durchführung des Schrittes c) die Position des maximalen Kontrastes durchlaufen wurde, folgende Schritte durchgeführt werden:

- g) Feststellung des Wertes des maximalen Kontrastes in der graduellen Bewegung mit der ersten Schrittweite, um diesen mit einem vorgegebenen Wert zu vergleichen,
- h) Durchführung der Schritte a) und e), wenn der bei der Durchführung des Schrittes g) festgestellte Wert des maximalen Kontrastes größer ist als der vorgegebene Wert, und
- i) Durchführung der Schritte a) bis e) und kombinierte Durchführung der Schritte a) bis c) und der Schritte f) bis h) mit einer Schrittweite, die kleiner ist als die erste Schrittweite, Festsetzung der Grenzposition oder des Referenzpunktes als einen zweiten Referenzpunkt, wenn der beim Schritt c) erhaltene Wert kleiner ist als der vorliegende Wert.

6. Automatisches Fokussierverfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende weitere Schritte nach Durchführung des Schrittes c):

- d) Rückstellung der Position des Objektes

oder der Objektlinse in eine in der normalen Richtung für die erste Schrittweite von der Position des maximalen Kontrastes verschobene Position und dann Bewegung des Objektes oder der Objektlinse mit einer zweiten Schrittweite, die kleiner ist als die erste Schrittweite, in eine umgekehrte Richtung bei gleichzeitiger Messung des Kontrastes, zu einer Position mit einem Kontrastwert, der kleiner ist als der Kontrastwert bei der verschobenen Position und der dem genannten Kontrastwert und den im Schritt a) gespeicherten Werten am nächsten kommt,

e) Nutzung des während einer graduellen Bewegung im Schritt d) gemessenen Wertes des maximalen Kontrastes und der Kontrastwerte in mit der zweiten Schrittweite von der Position des maximalen Kontrastes in Normal- und umgekehrten Richtungen verschobenen Positionen zur Berechnung eines Brennpunktes durch einen annähernden Ausdruck der Interpolation, und

f) Durchführung eines Wechsels, um die Position entweder des Objektes oder der Objektlinse auf die im Schritt e) errechnete Position zu setzen.

7. Automatisches Fokussierverfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß, wenn eine Grenzposition für die Bewegung des Objektes oder der Objektlinse auf der dem Bezugspunkt entgegengesetzten Seite gesetzt wird und es unmöglich ist, festzustellen, ob innerhalb der Durchführung des Vorganges zur Durchführung des Schrittes c) die Position des maximalen Kontrastes durchlaufen wurde, folgende Schritte durchgeführt werden:

- g) Feststellung des Wertes des maximalen Kontrastes in der graduellen Bewegung mit der ersten Schrittweite, um diesen mit einem vorgegebenen Wert zu vergleichen,
- h) Durchführung der Schritte a) und e), wenn der bei der Durchführung des Schrittes g) festgestellte Wert des maximalen Kontrastes größer ist als der vorgegebene Wert, und
- i) Durchführung der Schritte a) bis e) und kombinierte Durchführung der Schritte a) bis c) und der Schritte f) bis h) mit einer Schrittweite, die kleiner ist als die erste Schrittweite, Festsetzung der Grenzposition oder des Referenzpunktes als einen zweiten Referenzpunkt, wenn der beim Schritt c) erhaltene Wert kleiner ist als der vorliegende Wert.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein automatisches Fokussierungsverfahren, das insbesondere für Mikroskope geeignet ist.

Ein automatisches Fokussierungsverfahren, das in der Vergangenheit bei optischen Apparaten wie beispielsweise bei Mikroskopen angewendet wurde, besteht darin, daß zur Erreichung der Brennpunkteinstellung eine Entfernung zwischen einer Probe oder einem zu fotografierenden Objekt und einer Objektlinse derart eingestellt wurde, daß die Größe des Kontrastes maximiert wurde, die durch die Differenzierung oder Integration eines Projektionsbeleuchtungssignals erlangt wird,

das von einer TV-Kamera oder einer Bildaufnahmeeinrichtung wie beispielsweise einem Festkörperbildsensor des line-scanning-Typs ausgegeben wird. Ein solches Verfahren beinhaltet die drei nachstehenden Systeme:

(1) Voll-Scanning System

Hierbei handelt es sich um ein System zur Erreichung der Brennpunkteinstellung, bei dem die Position einer Objektlinse oder eines Objektes (Probe) vollständig in den Bereich des Abstandes zwischen einem vorderen Fokus und einem hinteren Fokus verschoben wird, um die Position innerhalb dieses Verschiebungsbereiches, in der der maximale Kontrast erhalten wird, zu speichern und um anschließend die Objektlinse oder das Objekt in die Position des maximalen Kontrastes zu setzen.

(2) Spitzen-Stop-System

Hierbei handelt es sich um ein System zur Erreichung der Brennpunkteinstellung, bei dem die Objektlinse oder das Objekt aus der Position des vorderen Fokus herausbewegt wird und die Bewegung der Objektlinse oder des Objektes in der Position gestoppt wird, in der der Kontrast maximal ist.

(3) Nullsteigungs-System

Hierbei handelt es sich um ein System zur Erreichung der Brennpunkteinstellung, bei dem die Objektlinse oder das Objekt bewegt wird und dann die Bewegung in einer Position gestoppt wird, in der der Kontrast nicht länger variiert, und zwar in der Weise, daß zuerst das Objekt oder das Objekt in eine willkürliche Richtung bewegt wird, um einen Vergleich zwischen den Kontrastwerten vor und nach der Bewegung durchzuführen, und daß anschließend die Objektlinse oder das Objekt in die gleiche Richtung bewegt wird, wenn der Kontrastwert nach der Bewegung angestiegen ist und in die entgegengesetzte Richtung, wenn der Kontrastwert nach der Bewegung abgenommen hat.

Von den voranstehend beschriebenen Systemen wird üblicherweise das System (2) oder (3) benutzt. Tatsächlich ist es jedoch so, daß, weil zusätzlich zu der Spitze des maximalen Kontrastes der Brennpunktspitzen eine Anzahl von Unter-Spitzen des Kontrastes existieren, diese Systeme ein Problem dahingehend aufweisen, daß, wenn die automatische Brennpunkteinstellung durchgeführt wird, die Positionen der Unter-Spitzen fehlerhaft als Brennpunktspitzen festgestellt werden und infolgedessen der Vorgang der automatischen Brennpunkteinstellung gestoppt wird, so daß möglicherweise Fehlfunktionen entstehen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein automatisches Fokussierungsverfahren zu schaffen, das es ermöglicht, die Position des maximalen Kontrastes, d. h. die Brennpunktspitzen unabhängig von Unter-Spitzen des Kontrastes genau festzustellen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei Durchführung folgender Schritte gelöst:

- a) ein Schritt zur Messung des Kontrastes bei gleichzeitiger schrittweiser Bewegung einer Objektlinse oder eines Objektes entlang einer optischen Achse der Objektlinse in Normal-Richtung, d. h. in einer Richtung, in der die Objektlinse und das Objekt voneinander getrennt sind, mit einer festen Schrittweite von einem Referenzpunkt aus, und zur Speicherung der Größe des Kontrastes bei

jeder Position der Objektlinse oder des Objektes während der Bewegung;

b) ein Schritt zum Vergleich einer Differenz zwischen dem Kontrast einer Position, in die die Objektlinse oder das Objekt gerade bewegt worden ist und dem gespeicherten Kontrast bei einer Position, in die es bereits bewegt worden ist mit einem vorliegenden Entscheidungswert; und

c) ein Schritt zur Entscheidung, daß, wenn alle Resultate dieser Vergleiche bei den entsprechenden oben beschriebenen Positionen positive Werte aufweisen, die Position des maximalen Kontrastes innerhalb der graduellen Bewegung um einen festen Schritt bereits durchlaufen ist.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, daß nach Durchführung des voranstehend beschriebenen Schrittes c) die Brennpunkteinstellung durch folgende Schritte erreicht wird:

d) Ein Schritt zur Rückstellung der Objektlinse oder des Objektes zu einer Position, die um einen Schritt in der Normal-Richtung von der Position des maximalen Kontrastes verschoben ist, und dann Bewegung der Objektlinse oder des Objektes mit einer Schrittweite, die kleiner ist als die voranstehend erwähnte, in die umgekehrte Richtung, um die Schritte a) bis c) durchzuführen; und

e) ein Schritt zur Wiederholung der voranstehenden Schritte a) bis d), bis eine vorliegende minimale Schrittweite unterhalb einer Tiefe des Fokus anwendbar ist. Daher kann, auch wenn sich innerhalb des Kontrastes Unter-Spitzen befinden, ein realer Spitzenwert festgestellt werden und die automatische Brennpunkteinstellung kann mit einem hohen Grad an Sicherheit durchgeführt werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung ist die Durchführung so vorgesehen, daß nach Vollendung des voranstehend genannten Schrittes c) die Brennpunkteinstellung durch folgende Schritte ausführbar ist:

f) Ein Schritt zur Zurückstellung der Objektlinse oder des Objektes zu einer vorderen Position, die um einen Schritt von der Position des maximalen Kontrastes in die Normal-Richtung verschoben ist, und zur anschließenden schrittweisen Bewegung der Objektlinse oder des Objektes in die entgegengesetzte Richtung bei gleichzeitiger Messung des Kontrastes während einer vorgegebenen Zahl von Bewegungen mit einer Schrittweite, die kleiner ist als die oben angesprochene Schrittweite oder bis zu einer Position mit einem Kontrastwert, der unterhalb des Kontrastwertes der voranstehend angesprochenen vorderen Position liegt und diesem am nächsten kommt, bei gleichzeitiger Speicherung der Kontrastwerte gemäß Schritt a),

g) ein Schritt zur Nutzung des Wertes des maximalen Kontrastes, der im Verlauf dieser Bewegung gemessen wurde und der Werte des Kontrastes bei den um eine Schrittweite die Normal-Richtung und die umgekehrte Richtung von der gemessenen Position verschobenen Positionen zur Errechnung der Fokusposition durch einen annähernden Ausdruck der Interpolation; und

h) ein Schritt zur Durchführung eines Wechsels um

die Position entweder des Objektes oder der Objektlinse auf die berechnete Brennpunktsposition zu setzen. Auf diese Weise wird die Zeit für die Brennpunkteinstellung reduziert.

Gemäß einer anderen bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß, wenn eine Grenzposition für die Bewegung der Objektlinse oder des Objektes auf der dem Referenzpunkt gegenüberliegenden Seite festgelegt ist und es sich als unmöglich gezeigt hat, festzustellen, daß die Position des maximalen Kontrastes durchschritten wurde, um innerhalb des Verfahrens den Schritt c) durchzuführen, dann die Brennpunkteinstellung durch Durchführung folgender Schritte erreicht wird:

i) ein Schritt zur Feststellung des Wertes des maximalen Kontrastes bei der graduellen Bewegung, um diesen mit einem vorgegebenen Wert zu vergleichen;

j) ein Schritt zur Durchführung der Schritte d) und e) oder der Schritte f) bis h), wenn der maximale Kontrastwert größer ist als der vorgegebene Wert, und

k) ein Schritt zur Durchführung der Schritte a) bis e) oder der Schritte a) bis c) und der Schritte f) bis h) mit einer Schrittweite, die kleiner ist als die Schrittweite im Schritt i) in Bezug auf die Grenzposition oder den Bezugspunkt als zweiten Bezugspunkt, wenn der maximale Kontrastwert kleiner ist als der vorgegebene Wert. Daher kann auch im Falle eines Objektes mit geringem Kontrast die automatische Fokuseinstellung mit Sicherheit durchgeführt werden.

Diese und andere Aufgaben und die Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung und bevorzugten Ausführungsformen in Verbindung mit den Zeichnungen deutlich werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachstehend anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine Grundstruktur einer automatischen Fokussiereinrichtung zur Durchführung des erfindungsge-
mäßigen Verfahrens in einer schematischen Ansicht,

Fig. 2 und 3 das Verhältnis des Kontrastes und der Objektiv/Proben-Entfernung für den Fall, daß nur eine Spitze des Kontrastes vorliegt (Fig. 3) und für den Fall, daß eine Vielzahl von Unter-Spitzen des Kontrastes vorliegen (Fig. 4) in entsprechenden Diagrammen.

Fig. 4 das Prinzip der Rückstellungsmethode nach einer ersten Form des Verfahrens in einem Diagramm,

Fig. 5 den Verfahrensverlauf der ersten Methode in einem Diagramm,

Fig. 6 das Prinzip der Interpolation nach der zweiten und dritten Methode in einem Diagramm,

Fig. 7 den Verfahrensverlauf der zweiten Methode in einem Diagramm, und

Fig. 8 und 9 den Verfahrensverlauf einer vierten Methode für den Fall, daß der maximale Kontrast größer ist als ein vorgegebener Kontrastwert (Fig. 8) und für den Fall, daß der maximale Kontrastwert kleiner ist als ein vorgegebener Kontrastwert (Fig. 9).

Die vorliegende Erfindung wird nachstehend auf der Basis jeder dargestellten Verfahrensweise beschrieben.

Fig. 1 stellt eine Grundstruktur einer automatischen Fokussiereinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung dar, bei der von einer

Festkörperbildaufnahme-einrichtung 2 des line-scanning-Typs (beispielsweise eine CCD-Kamera), die am Tubus 1a eines Mikroskopes 1 gehalten ist, ausgesandte Projektionsschleifensignale in einen Mikrocomputer 4 über einen A/D-Wandler eingegeben werden und ein Absolutwert eines Differenzwertes zwischen den zueinander benachbarten Pixeln zwischen den Projektionsschleifensignalen, die von den Festkörperbildaufnahme-einrichtungen in der Festkörperbildaufnahme-einrichtung 2 des line-scanning-Typs produziert werden, im Hinblick auf alle Pixel einer horizontalen Scanning-Linie festgestellt werden, um die Gesamtheit jedes Absolutwertes zu erhalten. Dieser Gesamtwert ist als Kontrast bestimmt und das voranstehende Verfahren wird durchgeführt, während die Objektlinse 1a oder der Tisch (Objekt) 1b des Mikroskopes 1 von einem Antriebsmotor (einem Pulsmotor) 5 über einen an sich bekannten Mechanismus graduell bewegt wird und auf der Basis der so erhaltenen Kontrastinformation der Pulsmotor 5 von Computer 4 so gesteuert wird, daß eine Distanz D zwischen der Objektlinse 1a und dem Objekt (Probe) 1b eingestellt wird, um einen Fokuspunkt (FP) sicherzustellen. Die Festkörperbildaufnahme-einrichtung des line-scanning-Typs, d. h. das fokussierende System 2 kann in ein optisches System im Gehäuse des Mikroskopes 1 integriert werden.

In den Fig. 2 und 3 sind Kurven dargestellt, die das Verhältnis zwischen dem Kontrast C und dem Objekt/Proben-Abstand D darstellen. Fig. 2 stellt dabei den idealen Fall eines Kontrastes mit nur einer Spitze (peak) Tp dar und in einem solchen Fall kann die Fokuseinstellung mit Sicherheit in einer einfachen Weise durchgeführt werden. Wenn jedoch tatsächlich eine Kontrastkurve mit einer Vielzahl von Unter-Spitzen (sub-peaks) Sp zustande kommt, wie dies in Fig. 3 dargestellt ist, führt das zu dem Ergebnis, daß bei den konventionellen Verfahren die Unter-Spitzen Sp immer irrtümlich als die Position des maximalen Kontrastes, d. h. als die Position des Fokuspunktes FP betrachtet worden sind.

Daher hat das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung die Probleme des bekannten Verfahrens gelöst, indem — wie nachstehend beschrieben — die Bewegung zur Einstellung der Entfernung zwischen der Objektlinse und der Probe und der Vergleich mit dem Kontrast verbessert wurde. Zunächst wird eine erste Ausführungsform beschrieben. Wie in Fig. 4 dargestellt, startet der Pulsmotor 5 mit dem Antrieb auf einem ursprünglichen Punkt HP , der willkürlich in der Position (vorderer Fokus) festgesetzt wird, die auf der Objektseite vom Fokuspunkt liegt, und während die Objektlinse 1a kontinuierlich Schritt für Schritt mit einer vorbestimmten Schrittweite $S1$ in Richtung (Normal-Richtung) des Fokuspunktes FP bewegt wird, wird bei jedem Schritt der Kontrast gemessen, so daß die Daten der gemessenen Positionen $Da, Da-1, \dots$ und die Kontrastwerte $Ca, Ca-1, \dots$ bei den entsprechenden Positionen werden in einen Speicher des Mikrocomputers 4 eingegeben. Dann werden die Kontrastwerte $Ca-n$ (die bereits gespeicherten Daten), die den vielen Positionen $Da-n$ in dem Bereich, der die vorbestimmte Anzahl von Schritten n in eine Richtung entgegengesetzt zur Normal-Richtung (d. h. in die entgegengesetzte Richtung) von der vorliegenden Position Da entsprechend, aus dem Speicher des Computers 4 geholt, um die Größe der Kontrastwerte auf der Basis der Position Da zu vergleichen. Das kann durch eine Gleichung folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$\Delta Cna = Ca-n - Ca$$

$$(n = 1, 2, \dots, n)$$

Wenn der Gesamtwert von ΔCna größer ist als ein vorhergegebener Entscheidungswert ϵ ($\epsilon \geq 0$) zeigt dies, daß die vorliegende Position sich in einem absteigenden Teil der Kontrastkurve befindet und konsequenterweise kann entschieden werden, daß die Position des maximalen Kontrastes durchschritten worden ist, während das Objekt schrittweise mit der Schrittweite $S1$ bewegt wurde. Hiernach wird, wie in Fig. 5 dargestellt, die Objektlinse zu einem Zeitpunkt zu der Position Das ($Das = Da_{max} + S1$, auf der Da -Seite) zurückgestellt, wo die Position des Kontrastes Ca in die Normal-Richtung um einen Schritt von der Maximalposition Da_{max} ($Ca = Ca_{max}$) zwischen die Positionen Da , wo die Objektlinse schrittweise bewegt worden ist, und dann wird die gleiche Operation, wie vorstehend beschrieben, in Richtung auf den Fokuspunkt, d. h. in einer Richtung entgegengesetzter Normal-Richtung, mit einer Schrittweite, die kleiner ist als die Schrittweite $S1$, durchgeführt. Dann, nachdem der vorstehend beschriebene Vorgang kontinuierlich durch ständige Wiederholung durchgeführt worden ist, bis eine vorgegebene minimale Schrittweite unterhalb der Schärfentiefe angewendet werden kann, ist der Vorgang vollendet und die Position, wo die Objektlinse zuletzt angehalten wurde, ist der Fokuspunkt.

Nach dieser Methode werden die Unter-Spitzen des Kontrastes außer Acht gelassen, so daß ein realer Spitzenwert erhalten wird und eine automatische Brennpunkteinstellung sicher durchgeführt werden kann. Fig. 4 stellt die Position Da (diese Entscheidungsbedingung ist die, bei der alle Werte von $Ca-1 - Ca, Ca-2 - Ca, Ca-3 - Ca$ und $Ca-4 - Ca$ größer sind als der Entscheidungswert ϵ), wo entschieden wird, daß die Position des maximalen Kontrastes bei der Schrittweite $S1$ durchschritten worden ist und die Zahl der return-Schritte n ($= 4$). Weiterhin zeigt Fig. 5 den Vorgang, um den Fokuspunkt zu erhalten, in dem die Schrittweite geändert wird. Auch der Entscheidungswert ϵ und die Anzahl der return-Schritte n muß im Hinblick auf Kontraständerungen geändert werden, wenn die Schrittweite S geändert wird, und deren praktische Werte hängen von den Kontrastdaten einer Probe und den Daten des elektrischen Rauschens (der Streuung des Kontrastes) ab.

Die Methode der Feststellung der Größe des Kontrastes während der Rückstellung der Linse, wie vorstehend beschrieben, wird nachstehend abgekürzt "return-Methode" bezeichnet.

Nachstehend ist eine zweite Ausführungsform mit einer Modifizierung der ersten Ausführungsform beschrieben. Das Verfahren nach dieser Ausführungsform dient zur Reduzierung der Zeit der Brennpunkteinstellung und wird in Verbindung mit den Fig. 6 und 7 beschrieben. Zunächst wird die return-Methode mit der Schrittweite $S1$ angewandt und nach Feststellung der Position Das (siehe Fig. 4), in der die Position des Kontrastes Ca in Normal-Richtung um einen Schritt von der Maximumposition Da_{max} verschoben ist, wird die Objektlinse 1a in diese Position bewegt. Dann, wie in Fig. 6 und 7 eingezeichnet, wird die Objektlinse bei Messung des Kontrastes um eine vorgegebene Anzahl von return-Schritten mit einer Schrittweite $S2$, die kleiner ist als die Schrittweite $S1$, in Richtung auf den Fokuspunkt (d. h. in eine Richtung entgegengesetzt zur Normal-Richtung) von der Position Das als Startpunkt be-

wegt (diese Bewegung der Objektivlinse wird nachstehend als Indikations-Bewegung bezeichnet).

Nachdem die Indikations-Bewegung vollständig durchgeführt ist, wird aus dem maximalen Kontrast C'_{max} (diese Position ist D'_{max}), der bei der m -maligen graduellen Bewegung produziert wird, und den Kontrastwerten $C'L$, $C'R$, die den Positionen $D'L$, $D'R$ ($D'L = D'_{max} - S_2$; $D'R = D'_{max} + S_2$), die auf entgegengesetzten Seiten der Position D'_{max} existieren, entsprechen, der Fokuspunkt FP durch einen annähernden Interpolationsausdruck errechnet, und anschließend wird die Objektivlinse zu dem errechneten Fokuspunkt bewegt. Für die Interpolation sind verschiedene Methoden bekannt und als Ergebnis der Durchführung der vorliegenden Erfindung ist gefunden worden, daß auch die einfachste lineare Approximation ungefähr adäquate Ergebnisse bringen kann, so daß nachstehend nur eine Gleichung für eine lineare Approximation beschrieben wird:

$$\text{Für } C'L \geq C'R, \\ FP = D'_{max} - \frac{C'L - C'R}{2(C'_{max} - C'R)} S_2;$$

$$\text{Für } C'L \leq C'R, \\ FP = D'_{max} + \frac{C'R - C'L}{2(C'_{max} - C'L)} S_2.$$

Auch wenn hier Anzeichen vorliegen, daß die return-Methode bei der Ausführungsform nur in Bezug auf die Bewegung mit der Schrittweite S_1 angewendet wird, so ist es jedoch für die Verbesserung der Sicherheit beim Fokussieren nur notwendig, ein Verfahren mit einer anwachsenden Anzahl von Anwendungen der return-Methode (angewendet auch in Bezug auf die Bewegung mit der Schrittstärke S_2 ($< S_1$) beispielsweise) und/oder ein Verfahren der Anwendung der Interpolation bei gleichzeitigem Ansteigen der Anzahl der Anwendungen voranstehend beschriebenen Indikations-Bewegung zu verwenden und die Auflösung durch Festsetzung einer Schrittweite, die kleiner ist als die Schrittweite S_1 , zu vergrößern.

Nachstehend wird als dritte Ausführungsform eine Beschreibung im Hinblick auf ein Verfahren zur Feststellung des Fokuspunktes gegeben, bei dem eine automatische Feststellung der Anzahl der return-Schritte n der Indikations-Bewegung bei der zweiten Ausführungsform durchgeführt wird. Als erstes wird die return-Methode mit der Schrittweite S_1 durchgeführt zur Feststellung der Position DaE (siehe Fig. 4), wohin die Position des Kontrastes Ca in Normal-Richtung um einen Schritt von der Maximalposition D_{max} verschoben ist, gefolgt von der Bewegung der Objektivlinse $1a$ in diese Position. Dann wird die Objektivlinse $1a$ weiter zu der folgenden Position DaE bewegt, während der Kontrast gemessen wird, und zwar mit einer Schrittweite S_1 in Richtung zum Fokuspunkt FP , d. h. in einer zur Normal-Richtung entgegengesetzten Richtung, ausgehend von der Position Da als Startpunkt. Das bedeutet, wie in Fig. 6 dargestellt, daß die Position DaE die Position ist, die den Kontrastwert CaE aufweist, der kleiner als der der Position Da entsprechende Kontrastwert Ca ist und der dem Kontrastwert Ca von den bei der Durchführung der return-Methode mit der Schrittweite S_1 gespeicherten Kontrastwerten Ca am nächsten kommt. Hieran anschließend wird die bei der zweiten Ausführungsform beschriebene Interpolation auf die dritte Ausführungsform angewendet und der Fokus-

punkt FP wird in gleicher Weise wie bei der zweiten Ausführungsform erhalten.

Nachstehend ist als vierte Ausführungsform eine Methode der Brennpunktbestimmung bei einer Probe mit einem geringen Kontrast im einzelnen erklärt. Generell ist festzustellen, daß im Falle einer Probe mit einem geringen Kontrast die Differenz zwischen den Kontrastwerten kleiner ist als der Entscheidungswert und eine Spitzen-Weite ist ebenfalls kleiner, so daß die Position D_{max} , die dem maximalen Kontrast C_{max} entspricht, möglicherweise beim erstenmal durch die return-Methode mit der Schrittweite S_1 nicht festgestellt werden kann. Das automatische Fokussierverfahren wird in einem solchen Fall wie folgt durchgeführt:

Eine Einrichtung 6 (Fig. 1) zur Feststellung einer vorgegebenen Grenzposition LP (eine Position, die auf der hinteren Fokussseite des Fokuspunktes liegt, das ist die in Fig. 4 dargestellte Position LP) ist von vornherein im Mikroskop vorgesehen, und nach Ermittlung der Position LP wird der maximale Kontrast C_{max} in der Position Da , in die die Objektivlinse bereits schrittweise bewegt worden ist, festgestellt. Wenn der Wert C_{max} größer ist als ein vorgegebener Kontrastwert C_t , wird die Objektivlinse zu der Position Da_s , die um einen Schritt aus der Position D_{max} des maximalen Kontrastes C_{max} verschoben ist, zwischen die Positionen Da , in die die Objektivlinse bereits schrittweise bewegt worden ist, bewegt wie zu Beginn der dritten Ausführungsform, und dann wird der Fokuspunkt in gleicher Weise wie zu Beginn der dritten Ausführungsform festgestellt. Ein Fokussiervorgang nach der voranstehend erläuterten Methode in Anwendung auf die erste Ausführungsform ist in Fig. 8 dargestellt.

Wenn andererseits der Kontrast C_{max} kleiner ist als der vorgegebene Kontrast C_t , wird die Grenzposition LP als falscher Originalpunkt festgestellt und die Schrittweite wird auf S_2 (kleiner als S_1) heruntergesetzt, um wiederum die return-Methode durchzuführen. Anschließend wird der Fokuspunkt in gleicher Weise wie zu Beginn der dritten Ausführungsform festgestellt. Ein Fokussiervorgang nach dieser Methode unter Anwendung auf die erste Ausführungsform ist in Fig. 9 dargestellt. Diese Ausführungsform stellt die Grenzposition LP als falschen Originalpunkt fest, um diesen in den Refokus zu bringen. In einem solchen Fall mit einer Probe mit einer bestimmten Dicke wird jedoch ein Fokus auf der Rückseite der Probe festgestellt. Und daher nutzt diese Ausführungsform zur Fokussierung in Bezug auf die gleiche Oberfläche (beispielsweise die Frontoberfläche), indem zunächst der falsche Originalpunkt durch den richtigen Originalpunkt HP ersetzt wird.

Obwohl in der voranstehenden Beschreibung die Objektivlinse bewegt wird, um die Entfernung D zwischen der Objektivlinse und der Probe einzustellen, ist es selbstverständlich, daß die gleichen Ergebnisse erhalten werden, wenn der Mikrocomputer 4 mit einem in Fig. 1 mit gestrichelten Linien eingezeichneten Motor 5' so verbunden ist, daß die Komponente auf der Probenseite bewegt wird.

Weiterhin ist festzustellen, daß der Antriebsmotor 5, 5', der voranstehend als Puls-Motor beschrieben wurde, auch als anderer DC-Motor vorgesehen werden kann und daß es auch möglich ist, die Brennpunkteinstellung anstelle einer graduellen und schrittweisen Bewegung als kontinuierliche Bewegung durchzuführen, wenn die elektrischen Signale der Bildaufnahmeeinrichtung 2 des line-scanning-Typs, des A/D-Wandlers 3 und des Mikro-

computers 4 bei Hochgeschwindigkeit erzeugt werden können.

Auch im Falle, daß das elektrische Rauschen hoch ist und der Kontrast stark streut, kann der Fokuspunkt mit einem hohen Grad an Sicherheit festgestellt werden in der Weise, daß die Messung des Kontrastes mehrfach in der gleichen Position und bei gleichen Betriebsbedingungen durchgeführt wird, um so den Kontrast mit kleiner Streuung zu erhalten.

Obwohl die voranstehende Beschreibung sich auf die Beispiele in Bezug auf Mikroskope bezieht, ist festzustellen, daß vorliegende Erfindung ebenso gut auch auf andere optische Geräte anwendbar ist.

Zusammenfassend bezieht sich die Erfindung auf eine automatische Fokussiereinrichtung mit einem peak-stop-System, das geeignet ist, eine automatische Fokussierung folgendermaßen durchzuführen: Messung des Kontrastes während einer schrittweisen Bewegung entweder der Objektivlinse oder des Objektes in Richtung des Fokuspunktes entlang der optischen Achse der Objektivlinse mit einer festen Schrittweise von einem Referenzpunkt ausgehend, um den in jeder einzelnen Position während der Bewegung gemessenen Kontrast in einem Datenspeicher abzuspeichern, Vergleich einer Differenz zwischen dem gemessenen Kontrastwert einer erreichten Position, in die die Objektivlinse oder das Objekt zuletzt bewegt worden ist und den Kontrastwerten, die für jede Position, in die die Objektivlinse oder das Objekt bereits bewegt worden ist, gespeichert wurden, mit einem vorgegebenen Entscheidungswert, und Entscheidung, daß die Position des maximalen Kontrastes (der Fokuspunkt) im Hinblick auf die schrittweise Bewegung mit der voranstehend genannten Schrittweite bereits durchschritten worden ist, wenn jeder Vergleichswert bei jeder Position einen positiven Wert aufweist, wodurch es möglich wird, die Position des maximalen Kontrastes ungeachtet von sub-peaks des Kontrastes sicher festzustellen.

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

3735091

05-11-87

Nummer: 37 35 091
Int. Cl.⁴: G 02 B 7/11
Anmeldetag: 18. Oktober 1987
Offenlegungstag: 28. April 1988

2/1

FIG. 1

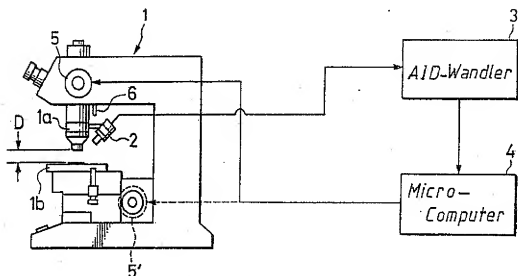


FIG. 2

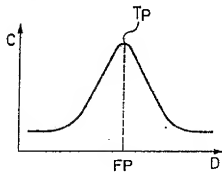


FIG. 3

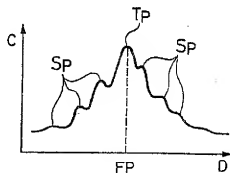


FIG. 4

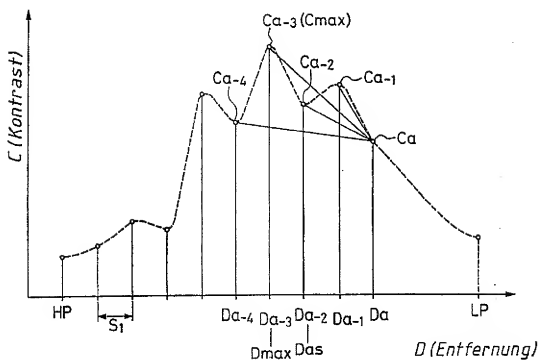


FIG. 5

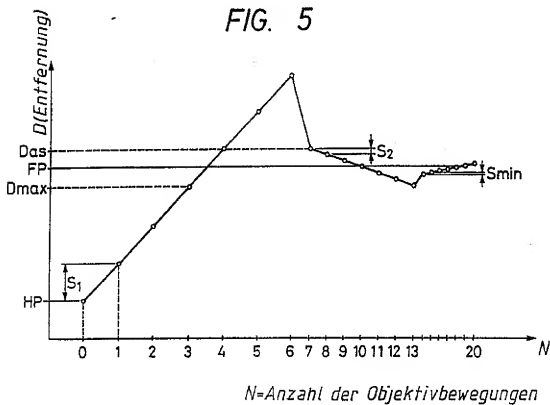
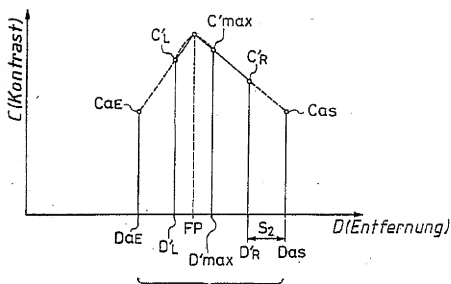
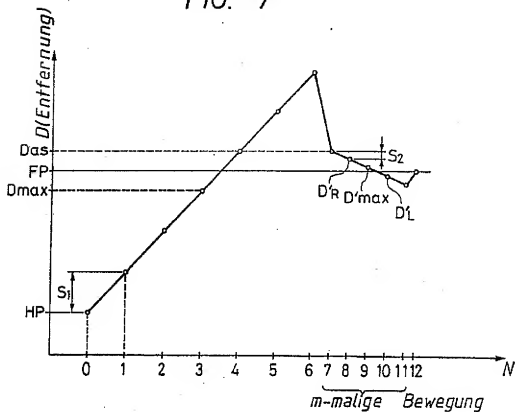


FIG. 6



m -malige Bewegung des Objektivs

FIG. 7



N =Anzahl der Objektivbewegungen

FIG. 8

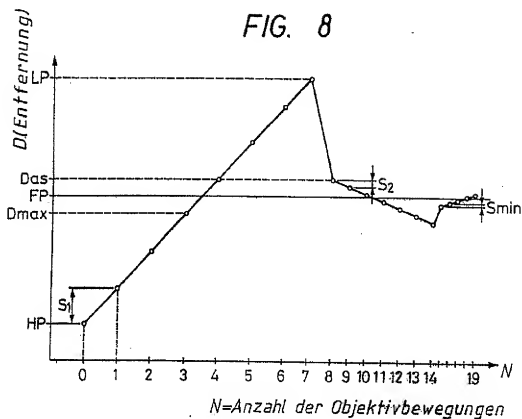


FIG. 9

